

Aus dem Anatomischen Institut  
der Johannes Gutenberg - Universität Mainz  
(Direktor: Prof. Dr. A. Mayet)

**„Beitrag zur Morphologie des unteren Kiefergelenkes“  
(Eine morphometrische Untersuchung)**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der Medizin  
der Johannes Gutenberg - Universität Mainz  
den Medizinischen Fachbereichen

Vorgelegt von  
Karin Schmitt  
aus Heiligenstein

Mainz 1976



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41547917\\_0022](https://archive.org/details/IA41547917_0022)





Aus dem Anatomischen Institut  
der Johannes Gutenberg - Universität Mainz  
(Direktor: Prof. Dr. A. Mayet)

**„Beitrag zur Morphologie des unteren Kopfgelenkes“  
(Eine morphometrische Untersuchung)**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der Medizin  
der Johannes Gutenberg - Universität Mainz  
den Medizinischen Fachbereichen

Vorgelegt von

Karin Schmitt  
aus Heiligenstein

Mainz 1976



Fachbereichsdekan: Prof. Dr. Dr. J. Grote  
1. Gutachter: Prof. Dr. E. Stofft  
2. Gutachter: Prof. Dr. G. Müller

# Beitrag zur Morphologie des unteren Kopfgelenkes

( Eine morphometrische Untersuchung )

## Inhaltsverzeichnis:

Seite

|        |                                                      |    |
|--------|------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Einleitung                                           | 1  |
| 2.     | Das untere Kopfgelenk                                | 3  |
| 2.1.   | Ontogenese                                           | 3  |
| 2.2.   | Morphologie                                          | 7  |
| 2.3.   | Gelenkmechanik                                       | 9  |
| 2.3.1. | Rotation                                             | 9  |
| 2.3.2. | Sagittalflexion                                      | 11 |
| 2.3.3. | Lateralflexion                                       | 12 |
| 3.     | Morphometrische Untersuchungen am unteren Kopfgelenk | 15 |
| 3.1.   | Material, Methode                                    | 15 |
| 3.2.   | Vermessung der Wirbelpräparate -Auswertung           | 19 |
| 3.3.   | Bestimmung der Gelenkachsenwinkel an Röntgenbildern  | 30 |
| 3.4.   | Messung der Dicke der Gelenkknorpel                  | 31 |
| 4.     | Interpretation und Diskussion der Ergebnisse         | 33 |
| 4.1.   | Allgemeine Aussagen                                  | 33 |
| 4.1.1. | Verteilung                                           | 33 |
| 4.1.2. | Altersunterschiede                                   | 33 |
| 4.1.3. | Geschlechtsunterschiede                              | 34 |
| 4.2.   | Spezielle Aussagen                                   | 34 |
| 4.2.1. | Die Höhe der Axiswirbel                              | 34 |
| 4.2.2. | Die Breite der Axiswirbel                            | 35 |
| 4.2.3. | Die Gelenkachsenwinkel                               | 35 |
| 4.2.4. | Die Gelenkflächen                                    | 37 |
| 4.3.   | Zusammenfassung                                      | 40 |
| 5.     | Anhang: Tabellen                                     | 41 |
| 6.     | Literaturverzeichnis                                 | 46 |
| 7.     | Danksagung, Lebenslauf                               | 52 |



## 1. Einleitung

Die Bewegungsmöglichkeiten des Kopfes sind von besonderem Interesse für die Orientierung des Individuums im Raum. KNESE (1948) beschreibt den Kopf als einen Körper mit maximal möglicher Bewegungsfreiheit; sie ist im wesentlichen bedingt durch die Konstruktion der beiden Kopfgelenke.

Die statisch günstige Lage des menschlichen Kopfes, bei dem im Gegensatz zum Tierschädel der Schwerpunkt nur wenig ventral von der Unterstützungsfläche liegt, läßt die Haltearbeit der Nackenmuskeln gering werden. Die Schädelform, die knöcherne Konstruktion, die Verteilung der Weichteile, die Anordnung der Gelenkflächen, ihr Neigungswinkel und ihre Flächengrößen ermöglichen, daß sich der menschliche Kopf im labilen Gleichgewicht befindet.

Störungen der Beweglichkeit der Halswirbelsäule sind ausgesprochen häufig. Bereits bei einem Durchschnittsalter von 17,5 Jahren finden sich 20% pathologische, hauptsächlich funktionelle Veränderungen der Halswirbelsäule. Im hohen Alter steigt der Prozentsatz der funktionellen und morphologischen Schädigungen auf 95% an (SCHOEN 1956). Kennzeichnend für die Subokzipitalgegend ist, daß, vermutlich bedingt durch das Fehlen von Bandscheiben, keine Bewegungseinschränkung durch degenerative Schäden auftritt (BROCHER 1955).

Jedoch zeigt die Praxis, daß die Beziehung zwischen der Wirbelsäulenfunktion und klinischen Beschwerden unvergleichlich enger ist, als die Beziehung zwischen degenerativen Veränderungen und klinischen Beschwerden (MARKUSKE 1961). BUETTI-BÄUML (1954), FISCHEDICK (1956), DIJAN und ZINN (1959), GUTMANN (1960), MARKUSKE (1961), und LEWIT und KRAUSOVÁ (1964) sind sich einig, daß nur Funktionsprüfungen, d.h. Röntgenaufnahmen in verschiedenen festgelegten Bewegungsstellungen für die Klärung der Beschwerden von Wert sind.

Bedingung für die Beurteilung solcher Funktionsaufnahmen ist jedoch, daß klare Vorstellungen bestehen über anatomisch-morphologische Beziehungen und Gelenkmechanik dieser Region. Im folgenden soll für das untere Kopfgelenk hierzu ein Beitrag geleistet werden. Die am Aufbau des unteren Kopfgelenkes beteiligten Knochen-Knorpel-Elemente sollen größenmäßig analysiert werden. Die Gelenkflächen sollen vermessen und mit den anderen Parametern in Beziehung gesetzt werden.

## 2. Das untere Kopfgelenk

### 2.1. Ontogenese

Beim Menschen werden ursprünglich 42 Ursegmente angelegt. Die fünf oberen gehen in das Os occipitale ein (BRANDT 1949). Die Blasteme von Okziput und Atlas werden durch die hypochondralen Spangen miteinander verbunden. Die Chorda dorsalis verläuft dorsal von den hypochondralen Spangen, dazwischen schiebt sich Blastem, das bis zur Schädelbasisanlage reicht (TÖNDURY, 1958). Der Neuralbogen des ursprünglichen Proatlas teilt sich beiderseits in einen vorderen und hinteren Bogenteil. Der vordere Teil bildet die Kondylen. Der hintere Teil verschmilzt mit dem Atlasring und beteiligt sich an der Bildung der oberen Gelenkflächen des Atlas.

Die Verknöcherung des Atlas geht von paarigen Knochenkernen in den Massae laterales aus, die ab zweitem Fetalmonat vorhanden sind. Die Verknöcherung erfolgt zunächst perichondral wie bei den Bögen der anderen Wirbel und setzt sich auf den hinteren Atlasbogen fort. Dieser ist gegen Ende des dritten Lebensjahres geschlossen. Der vordere Atlasbogen geht aus der hypochondralen Spange des C1-Segmentes hervor. Beim Neugeborenen ist der vordere Bogen in 80% der Fälle röntgenologisch noch nicht sichtbar (VON TORKLUS und GEHLE 1970).

Man findet drei Varianten:

- 1) Ein mittelständiger Kern im vorderen Bogen
- 2) Zwei paramediane Kerne
- 3) Verknöcherung von den Massae laterales aus

Die Verknöcherung ist zwischen dem 7. und 10. Lebensjahr abgeschlossen.

Der Atlaskörper wird beim Menschen nicht angelegt (TÖNDURY 1958). Der Dens axis soll nicht aus einem Atlaskörper entstehen, sondern aus den paarigen Dentalfortsätzen, die von der Stelle ausgehen, an der sich Neuralbogen und Wirbelkörper von C2 vereinigen (LUDWIG 1957). Zwischen der Anlage des Dens axis und des Axiskörpers findet sich dichtes Blastem, das an die Anlage einer Bandscheibe erinnert und deshalb in der Klinik als Synchondrosis axis (subdentale Synchondrose) bezeichnet wird.

Diese stellt sich beim Säugling röntgenologisch dar und verschmälert sich dann immer mehr. In 2,5% der Fälle findet sich noch beim Jugendlichen ein Rest davon und könnte als nicht dislocierte Fraktur interpretiert werden (MARKUSKE 1961). Die Überreste dieser "Zwischenwirbelscheiben" können im Schnitt auch beim Erwachsenen gefunden werden. Echte Brüche der Zahnbasis verlaufen stets in diesem Bereich, und zwar von dorsal kranial nach ventral kaudal (FISHER 1969).

Die Chorda dorsalis durchsetzt vom Axiskörper kommend das Blastem wie die übrigen Bandscheibenanlagen, verläuft durch die Dentalfortsätze und verläßt den Wirbel genau durch die Densspitze (LUDWIG 1957 und TÖNDURY 1958). Sie ist in ein dichtes Zellager eingebettet, das die Anlage des gesamten Bandapparates des Dens axis darstellt. Sie verankert sich in der Schädelbasis als Aufhängeband des Zahnes und läuft bis zur Sella turcica. Der Dens axis hat einen Knochenkern im basalen Bereich, der durch die Chorda dorsalis geteilt ist (VON TORKLUS und GEHLE 1970 sprechen von zwei Kernen). Die Verknöcherung erfolgt zweizipflig nach kranial. Oft tritt während der Kindheit in der Densspitze ein separater Knochenkern auf, welcher aus Proatlasmaterial stammt, das sogenannte Ossiculum terminale Bergmann. Das Ossiculum bildet entweder die Densspitze, oder die seitlichen Zipfel wachsen darüber hinweg und inkorporieren es. Läuft diese Entwicklung fehl, und der Dens bleibt hypoplastisch, so wird aus dem Ossiculum ein Os odontoideum, welches nur ungenügend mit dem Corpus axis zusammenhängt und bei Verschiebung zur Einengung des Wirbelkanals führen kann (VON TORKLUS und GEHLE 1970). Der Dens axis senkt sich tief und breitbasig in den Körper des zweiten Halswirbels ein (Denssockel). Die Axisbögen verknöchern perichondral ab zweitem Embryonalmonat, ihr dorsaler Schluß erfolgt im zweiten bis dritten Lebensjahr; die Verschmelzung mit dem Körper findet im siebten Lebensjahr statt. Beim Embryo von 12,5 mm Länge sind die Kopfgelenke nicht nachweisbar. Schon bei Embryonen von 30 mm Länge sind die Gelenkspalten zwischen Atlas und

Axis deutlich erkennbar, während sich zwischen Okziput und Atlas ohne Ausbildung des Kopfgelenkes lockeres Blastem befindet. Gelenkkapseln haben sich nicht ausgeformt. Aus dem hypochordalen Gewebe ist die Membrana atlantooccipitalis entstanden (STOFFT 1975).



Abb.1:

Embryo 30 mm Länge, Paraffinschnitt 6µm Dicke, Cochenille-



Abb.2:

Fetus 24 cm SSL, Paraffinschnitt 20 µm Dicke, Goldner-Färbung

Beim Fetus von 24 cm SSL sind die weitlumigen Gelenkkapseln, die stark kapillarisiert sind, zu erkennen. Deutlich sichtbar ist die strukturierte Knorpelzone zwischen dem Ossifikationskern in der Densmitte und Corpus axis.

## 2.2. Morphologie des unteren Kopfgelenks

Das untere Kopfgelenk besteht aus vier Gelenken, die untereinander ein funktionelles Ganzes bilden:

- a) Das Gelenk zwischen den Facies articulares superiores axis und den Foveae articulares inferiores atlantis (rechts und links)
- b) Das Gelenk zwischen der Facies articularis anterior des Zahnes und der Fovea dentis des vorderen Atlasbogens (vorderes Zahngelenk)
- c) Die Verbindung zwischen der Facies articularis posterior und dem Ligamentum transversum atlantis (hinteres Zahngelenk)

Zu a):

HENLE bezeichnet die Verbindung zwischen den Atlas- und Axisflächen als "ein Beispiel unausgeglichener Incongruenz und ein Gelenk ganz eigenthümlicher Art, dessen Konstruktion sich nicht mit einem einfachen Worte bezeichnen läßt" (zitiert nach HENKE 1858, Seite 114).

HENKE versucht die Beschreibung dennoch, und findet, daß die Inkongruenz der jeweils zusammengehörigen Gelenkflächen nur in Mittelstellung besteht, derart, daß die Flächen vorne und hinten weit klaffen, und sich nur längs einer transversalen Firste berühren, welche die Fläche in eine ventrale und dorsale Hälfte zerlegt. Bei der Kopfdrehung überwindet jedoch der Atlas diese Trennungskanten, und es legt sich auf der einen Seite die vordere Hälfte des Atlas auf die hintere Hälfte des Axis und auf der anderen Seite die hintere Hälfte des Atlas auf die vordere Hälfte des Axis, beziehungsweise umgekehrt bei entgegengesetzter Kopfdrehung. Kongruenz ist also jeweils bei den Halbflächen vorhanden, die durch die Drehung des Atlas übereinander zu liegen kommen.

FICK (1904) ergänzt die Beschreibung:

Die quere Leiste zwischen der vorderen und hinteren Hälfte

der Gelenkfläche liegt nicht horizontal, sondern das mediale Ende steht jeweils höher als das laterale.

HULTKRANTZ (1912) findet bei seinem Wirbelmaterial sehr selten derart ausgeprägte "Firste" und KNESE (1948) beschreibt sie gar nicht. Die Axisgelenkflächen sind in sagittaler Richtung deutlich, in frontaler dagegen nur schwach konvex. Die Atlasgelenkflächen sind umgekehrt leicht konkav, dabei aber so gestellt, daß bei der vorderen Abteilung der vordere Rand, bei der hinteren der hintere Rand etwas höher steht, als die in der Mitte befindliche Leiste. HULTKRANTZ (1912) ermittelte experimentell die Krümmungsradien und fand, daß rechte und linke Flächen jeweils auf einem gemeinsamen Kreisbogen lagen, und daß Atlas- und Axisgelenkflächen jeweils gleiche Krümmungen aufwiesen (Widerspruch zu eigenen Messungen). Die Atlasgelenkflächen sind etwas weniger ausgehöhlt als die Axisgelenkflächen (Durch eigene Messungen bestätigt).

Zu b):

Der Zahn steht nicht vollkommen senkrecht zur Körperoberfläche des Axis, sondern etwas schräg nach rückwärts geneigt, der Halslordosenkrümmung entsprechend (FICK 1904). Er ist von einem vorn knöchernen, hinten fibrösen Ring umgeben, mit dem er in schleifender Berührung steht. An der Ventralseite besitzt der Dens eine zylinderförmige Gelenkfläche, die eben, konkav oder konvex sein kann. Die Fovea dentis im ventralen Atlasbogen ist ein entsprechender Hohlzylinder. HULTKRANTZ (1912) bemerkt, daß die Krümmung der Gelenkfläche am Atlasbogen flacher ist als an der Facies articularis anterior.

Zu c):

Die Gelenkfläche an der Hinterseite des Zahnes ist von ähnlicher Größe wie die der Vorderseite, die Krümmung ist zylindrisch. Im unteren Teil der Gelenkfläche ist fast immer, außer der Konvexität von rechts nach links, auch eine Konkavität von oben nach unten vorhanden, so daß in diesen Fällen die Fläche sattelförmig wird. Die Gelenkfläche am Atlasquerband entspricht in Form und Größe der hinteren Atlasgelenkfläche.

Der Knorpelüberzug ist wie bei den meisten anderen Gelenken an den konvexen Flächen schwächer als an den konkaven, und in der Mitte am dicksten, nämlich  $1/2$  bis 2 mm. Die Gelenkkapseln stehen oft untereinander mit Schleimbeuteln in Verbindung, so daß eine physiologische Einheit des unteren Kopfgelenks besteht, innerhalb der sich rasch Entzündungen und Ergüsse von einem Teilgelenk zum anderen ausbreiten können.

### 2.3. Gelenkmechanik

Das untere Kopfgelenk wurde in früherer Zeit als ein reines Drehgelenk betrachtet, "bei dem sich der Atlas mit dem Querband um den Axiszahn dreht wie ein Rad um seine Achse" (FICK 1911, Seite 121). 1907 wies VIRCHOW an Leichen die Sagittalflexion im unteren Kopfgelenk nach. HULTKRANTZ (1912) beobachtet und mißt auch entsprechende frontale Seitneigungen.

#### 2.3.1. Rotation

MEYER (nach FICK 1904, Seite 101) versuchte die Gelenkflächen des unteren Kopfgelenks, einschließlich der Zahngelenkflächen, als Abschnitte eines Kegelmantels zu interpretieren. Die Kegelachse sollte vertikal durch die Mitte des Zahnes gehen. HENKE und FICK beobachteten, daß der Atlas in Mittelstellung seine höchste Lage auf der transversalen Leiste hat, und daß bei der Drehbewegung der mit ihm verbundene Schädel etwas nach unten sinkt. "Es handelt sich also bei den Kreiselbewegungen im unteren Kopfgelenk um eine Drehung um die Axiszahnachse, verbunden mit einer Fortbewegung längs dieser Achse, d.h. demnach um eine Schraubenbewegung, wie man deutlich bei Beobachtung der Flächenverschiebung im vorderen Zahngelenk erkennen kann. Hier gleitet der vordere Atlasbogen bei einer Rechtsdrehung mit seiner hohlen Gelenkfläche nicht einfach von links nach rechts an dem zylindrischen Axiszahn vorbei, sondern gleitet längs des Zylindermantels tiefer nach abwärts" (FICK 1911, Seite 122). HULTKRANTZ (1912, Seite 33) findet derartige Schraubenbewegungen selten: "Von der Mittelstellung aus gesehen, scheint es sich zunächst um eine reine Drehbewegung zu handeln;

erst wenn die Bewegung sich ihrem Ende naht, kommt die Senkung des Atlas hinzu. Mit der Kongruenz der in der Endstellung einander gegenüberliegenden Teile der Gelenkflächen steht es auch oft ziemlich schlecht."

KNESE(1936) betrachtete das untere Kopfgelenk als ein Gelenk mit drei Graden der Bewegungsfreiheit und führte es gelenkmechanisch auf ein Kugelgelenk zurück, welches jedoch stark modifiziert wird. Er legte die Facies articulares superiores auf eine Kugeloberfläche, der Zahn ragt an der höchsten Stelle der Kugel als Zapfen heraus. Die Rotationsbewegungen gehen von dem zylinderförmigen Zahngelenk aus. "Die Drehung geschieht, indem sich der Atlas auf den Facies ruhend, um eine Achse bewegt, die nicht ganz mit der Längsachse des Zahnes zusammenfällt, sondern etwas weiter dorsal liegt. Im allgemeinen kommt eine Senkung des Atlas hinzu. Die eine der unteren Gelenkfacetten des Atlas sinkt ventral, die andere dorsal am zugehörigen Processus herab. In diesem Augenblick beginnt die starke Senkung. Auf der Seite, nach der die Drehung erfolgt, ist die Senkung stärker, da die Processus stärker nach dorsal und lateral abfallen, als nach ventral. <sup>Durch</sup> Dieses verschieden starke Sinken nach beiden Seiten wird eine geringe Lateralflexion nach der Drehungsseite hervorrufen " (KNESE 1936, Seite 335). Er betrachtet die schraubenförmige Fortbewegung längs der Drehungsachse als sekundär, bedingt durch die unebenen Flächen auf denen der Atlas ruht.

Neuere Untersuchungen mit Hilfe der Röntgenstrahlen ermöglichen direkte Einsicht in die Verhältnisse am Lebenden. BROCHER (1952-1956, Seite 32): "Ein weiteres Ergebnis der Bewegungsaufnahme ist die am Gesunden gemachte Beobachtung, daß für die Drehbewegung zwischen Atlas und Epistropheus nicht der Processus ontoideus, sondern das der Drehbewegung gegenüberliegende Gelenk den Drehpunkt bildet. So kommt es, daß die der Drehrichtung entsprechende Seite des Atlas eine ausgiebigere Bewegung vollzieht. und sich infolge der Drehung und Herabrollung auf dem Epistropheus dem Zahn nähert. Gleichzeitig ragt die obere Gelenkfläche des Epistropheus infolge der projektions-

bedingten Verkürzung des Atlas weit über den entsprechenden seitlichen unteren Atlasanteil hinaus. In einigen Fällen sahen wir auch auf der weniger bewegten gegenüberliegenden Seite eine kleine, stets geringe Änderung der Stellung der unteren Gelenkfläche des Atlas, sowie der entsprechenden, nach oben gelegenen Gelenkfläche des Epistropheus. Auch diese scheinbare Verschiebung ist durch die Projektion des in dieser Stellung mehr der Mittellinie genäherten seitlichen Atlasteiles zu erklären." Durch die Anordnung der Ligamenta alaria ergibt sich, daß bei Drehung im unteren Kopfgelenk Zwangsbewegungen im oberen Kopfgelenk entstehen, die sich zur Primärbewegung addieren (FICK 1911).

### 2.3.2. Sagittalflexion

Während FICK die Nickbewegung im unteren Kopfgelenk als bedeutungslose Wackelbewegung bezeichnet, schließt HULTKRANTZ aus dem teilweise beträchtlichen Umfang der Sagittalflexion bei manchen Säugetieren auf ein grundsätzliches Vorkommen dieser Bewegung beim Menschen. HULTKRANTZ meint, daß die Einfügung des Dens in den fibroserösen Ring der Sagittalflexion nicht hinderlich ist, wenn sich die fragliche Bewegung um eine transversale Achse durch den Zahnfortsatz zwischen dem vorderen und hinteren Zahngelenk vollziehen kann. Bei KNESE ist es die transversale Achse der Kugel, auf deren Oberfläche er die Facies articulares superiores sieht. Durch die Schrägstellung ist der Zahn kein absolutes Hemmnis mehr für die Sagittalflexion. Der vordere Atlasbogen gleitet bei Streckung nur etwas aufwärts, bei Beugung etwas abwärts auf der Vorderfläche des Zahnes. Die unteren Atlasflächen schleifen auf dem Drehwirbel, und zwar nach vorne bei Streckung, nach hinten bei Beugung. HULTKRANTZ fand, daß die Nickbewegung im oberen Kopfgelenk mehr als doppelt so groß ist, als im unteren.

Geht die Sagittalflexion über das Nicken hinaus, d.h. beteiligt sich auch die untere Halswirbelsäule an der Bewegung, so kippt, bedingt durch den veränderten Druck der

Kondylen auf die Atlaspfanne, der Atlas nach vorn.

"Es ist, als ob sich der Atlas wie eine Waage verhalten würde, die, auf den Axis gestützt, nach vorne oder nach hinten überwiegt, je nachdem ob die Hinterhauptskondylen ihren Druck auf die vordere oder hintere Kante der Gelenkpfanne ausüben" (LEWIT und KRAUSOVÁ 1962, Seite 43).

### 2.3.3. Lateralflexion

Die Bewegung geschieht um die sagittale Achse durch den Mittelpunkt des Krümmungsradius der Gelenkflächen (HULT-KRANTZ, 1912). Der Dens muß dabei zwischen Fovea dentis und Ligamentum transversum schleifen, der Spalt in diesem fibroserösen Ring ist dafür groß genug.

Die Lateralflexion ist geringer als die Sagittalflexion und im oberen Kopfgelenk ausgeprägter als im unteren. Die beiden Kopfgelenke ergänzen sich auch in dieser Bewegung miteinander, geregelt durch die Ligamenta alaria. Man stellt fest, daß der Atlas zwischen Os occipitale und Axis zur Seite der Beugung hinüberryückt. Der Kondylus der Beugeseite senkt sich, auf der anderen Seite rückt er nach oben, und es sieht aus, als würde die keilförmige Seitenmasse des Atlas auf jener Seite aus ihrer Lage zwischen Kondylus und Axis herausgepresst, während sie auf dieser Seite in den erweiterten Zwischenraum tiefer hineingleitet. Es kommt zum Überragen des Gelenkrandes auf der einen Seite und zu einer asymmetrischen Stellung des Dens zwischen den Massae laterales. Der Axis rotiert dabei in Richtung der Seitneigung (BROCHER, 1955).

LEWIT und KRAUSOVÁ (1964) fassen ihre Untersuchungen über die Seitneigung in den Kopfgelenken zusammen: Bei Seitneigung rotiert der Axis stets im Sinne der Neigung; der Atlas verschiebt sich bei Seitneigung gegenüber den Hinterhauptskondylen und dem Axiszahn stets in Richtung der Seitneigung; die Foramen-magnum- und Axisebene konvergieren in Richtung der Seitneigung. Fehlen diese Zeichen, so spricht dies für eine Funktionsstörung in den Kopfgelenken.

Um Bewegungseinschränkungen in den Kopfgelenken, die bei aktiver Seitneigung kompensiert werden, trotzdem erkennen zu können, führten die Autoren den Begriff des "Seitnicken" ein, einer passiv hervorgerufenen, isoliert in den Kopfgelenken ablaufenden Lateralflexion bei fixierter unterer Halswirbelsäule (LEWIT und KRAUSOVÁ 1967). Die Ausschläge von Hinterhaupt, Atlas und Axis sind beim Seitnicken größer als bei der Seitneigung. Dabei wird auch das Phänomen der Axisrotation präzisiert. Diese tritt bei der Seitneigung auf als Summe der Einzelrotationen der kaudal liegenden Halswirbel, bei denen, wegen der Schrägstellung der kleinen Wirbelgelenke, bei Seitneigung der kraniale Wirbel gegenüber dem kaudalen im Sinne der Seitneigung rotieren muß. Beim Seitnicken ist eine seitliche Beugung und damit auch Rotation von C3 und C4 nicht zu vermeiden, so daß auch hier die Axisrotation relativ groß erscheint.

JIROUT (1967) betont umgekehrt, daß, infolge der besonderen Stellung der Gelenkflächen des C2/C3 Segments (die Gelenkflächen sind frontal, kaudal und lateral gerichtet) der Axis eine größere Drehung aufweist und dadurch die Rotation der benachbarten kaudalen Segmente in kranio-kaudaler Richtung beeinflusst.

Tab.1:

Bewegungsbestimmungen der Kopfgelenke in der Literatur  
(Winkelangaben in Grad)

| Bewegung               | oberes KG | unteres KG  | Autor           | Bemerkungen  |
|------------------------|-----------|-------------|-----------------|--------------|
| <u>Sagittalflexion</u> | 20        | 7,5         | Virchow 1907    | Gipspräpara  |
|                        | 35        |             | Strasser 1908   | Leiche       |
|                        | 18,5      | 12,5        | Hultkrantz 1912 | Leiche       |
|                        | 8,0       | 8,3         | Hultkrantz 1912 | Röntgen      |
|                        |           | 11,7        | Bakke 1931      | Röntgen      |
|                        | 15,6      | 14,3        | Brocher 1955    | Röntgen      |
|                        | 25,5      |             | Exner 1959      | Röntgen      |
|                        | 15,0      | 20,0        | Markuske 1961   | Rö.bis 14. J |
|                        | 15,0      | 18,0        | Markuske 1961   | Rö.14-18 J.  |
|                        | 15,2      | 16,1        | Lewit u.K.1963  | Röntgen      |
| <u>Lateralflexion</u>  |           | 12,0        | Schmidt 1964    | Röntgen      |
|                        |           | 5,0         | Schmidt 1964    | Rö.bei okzi  |
|                        |           |             |                 | Dysplasie    |
|                        | 7,5       | 3,8         | Hultkrantz 1912 | Rö.und Leic  |
| <u>Rotation</u>        |           | 0-4         | Bakke 1931      | Röntgen      |
|                        |           | unbedeutend | Brocher 1955    | Röntgen      |
|                        |           | 34-55       | Strasser 1908   | Leiche       |
|                        |           | 45          | Fick 1911       | Leiche       |
|                        |           | 45,2        | Hultkrantz 1912 | Leiche       |
|                        |           | 47          | Werne 1960      | Röntgen      |
|                        |           | 49          | Lewit u.K.1967  | Röntgen      |

### 3. Morphometrische Untersuchungen am unteren Kopfgelenk

#### 3.1. Material:

Zur histologischen Untersuchung gelangten Embryonen von 30mm, 50mm und 54mm Länge. Die mit Cochenille gefärbten Paraffinschnitte waren 6 µm dick; außerdem wurden von Feten mit 24cm und 25cm SSL 20 µm dicke Paraffinschnitte angefertigt und mit Goldnerfärbung behandelt.

Die Präparate wurden mir vom Anatomischen Institut dankenswerterweise zur Verfügung gestellt.

Zur Untersuchung standen weiterhin zwölf Wirbelpräparate von Atlas und Axis, bei denen Muskeln, Bänder und Gelenkkapseln entfernt waren und die in Alkohol konserviert wurden. Die Gelenkknorpel waren erhalten.

Tab.2:

| <u>Lfd. Nr.</u> | <u>Bezeichnung</u> | <u>Alter</u> | <u>Geschlecht</u> |
|-----------------|--------------------|--------------|-------------------|
| 1               | 5/74               | 35           | männlich          |
| 2               | 29/73              | 48           | "                 |
| 3               | 36/71              | 50           | "                 |
| 4               | 20/74              | 57           | "                 |
| 5               | 17/73              | 62           | "                 |
| 6               | 72/70              | 64           | "                 |
| 7               | 11/--              | 65           | "                 |
| 8               | 19/74              | 70           | "                 |
| 9               | 44/71              | 81           | "                 |
| 10              | 32/73              | 35           | weiblich          |
| 11              | 52/72              | 66           | "                 |
| 12              | 21/74              | 80           | "                 |

Tab.3:

| <u>Altersklasse</u> | <u>Anzahl männlich</u> | <u>Anzahl weiblich</u> |
|---------------------|------------------------|------------------------|
| 31-40               | 1                      | 1                      |
| 41-50               | 2                      | 0                      |
| 51-60               | 1                      | 0                      |
| 61-70               | 4                      | 1                      |
| 71-80               | 0                      | 1                      |
| 81-90               | 1                      | 0                      |

# Methode:

Gemessen wurde mit einer Schublehre

am Atlas: der Abstand der unteren Gelenkflächen (d.Gel.A.)

am Axis: der Abstand der oberen Gelenkflächen (d.Gel.Axis)

der Abstand der Processus transversi (d.Proc.  
trans.)

die Höhe des Wirbelkörpers mit Zahnfortsatz (h.  
Dens)

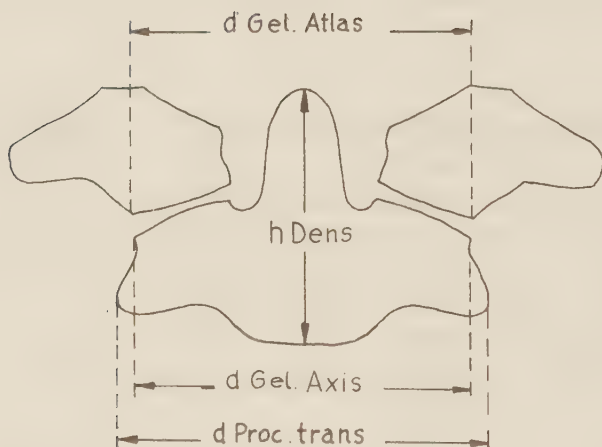


Abb.3:

Mit einem Goniometer wurden die Gelenkachsenwinkel der unteren Atlas- und der oberen Axisflächen bestimmt. Der Gelenkachsenwinkel beschreibt die Stellung der Gelenkflächen zueinander in frontaler Richtung. Er wurde jeweils über der Mitte der Gelenkflächen gemessen.

Die Atlasgelenkflächen waren bei unseren Präparaten alle plan oder konkav geneigt, so daß sich die Schenkel der Gelenkachsenwinkel als Abstand der Gelenkränder bzw. als Sekante der konkav gekrümmten Gelenkflächen darstellen ließen.



Gelenkflächen plan

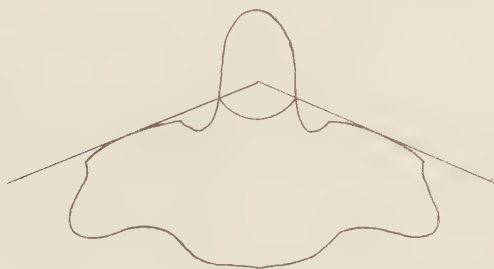
Abb.4:



Gelenkflächen konkav

Abb.5:

Die meisten Axisflächen zeigten eine konvexe Krümmung, so daß als Schenkel der Gelenkachsenwinkel die Tangenten an den Krümmungskreis bestimmt wurden.



Gelenkflächen konvex

Nur an zwei Präparaten fand sich ein First, der die Gelenkflächen in eine vordere und hintere Abteilung gliederte; entlang diesem wurde dann der Goniometer angelegt. Die Gelenkflächengrößen wurden mit der Abdruckmethode nach MÜLLER und STOFFT (1971) bestimmt: Eine dünne Aluminiumfolie wurde auf die überknorpelten Gelenkflächen angelegt, die Konturen sorgfältig durchgedrückt und ausgeschnitten. Die erhaltenen Aluplättchen in der Größe der Gelenkflächen wurden auf einer Mettler Präzisionswaage gewogen; ihre Größe kann mittels des Gewichtes errechnet werden.

So wurden die rechten und linken unteren Atlasflächen, die rechten und linken oberen Axisflächen, sowie die Gelenkflächen des vorderen Atlasbogens und die ventralen Gelenkflächen des Zahnfortsatzes bestimmt.

Bei letzteren konnten bei einigen Präparaten keine genauen Abdrücke erzielt werden, da die überknorpelten Ränder nicht scharf genug abgesetzt waren. In diesen Fällen wurden die Flächen mit einem Zirkel vermessen und auf Folie übertragen. Die Genauigkeit scheint bei diesem zeitraubenderen Verfahren genau so groß wie mit der Abdruckmethode zu sein.

Die Gelenkflächen des hinteren Zahngelenkes, insbesondere jene am Ligamentum transversum sind mit dieser Methode nicht zu bestimmen.

Jede Messung wurde dreimal durchgeführt und ihr Mittelwert bestimmt.

### 3.2. Auswertung der Ergebnisse

Darstellungsweise:

Die Meßergebnisse wurden in Kurven eingetragen. Die Abszisse trägt die Anzahl der Wirbel, nach zunehmendem Alter geordnet. Die Ordinate enthält die Meßwerte in mm, mg oder Grad.

Die Meßreihen ergeben charakteristische Kurven, die für einige der Parameter untereinander sehr ähnlich verlaufen. Diese Beobachtung veranlaßte dazu, trotz der geringen Anzahl der Meßwerte zu prüfen, ob die Parameter statistisch miteinander korrelierten. Es wurden die Maßzahlkorrelationen nach PEARSON ( $r$ ) bestimmt.

Die Höhe des Axiskörpers mit Zahnfortsatz variiert von 4,77cm beim 70-jährigen bis 3,75cm beim 62 Jahre alten Mann. Der Mittelwert liegt bei 4,32cm. Die Standardabweichung des Mittelwertes beträgt 0,28cm.

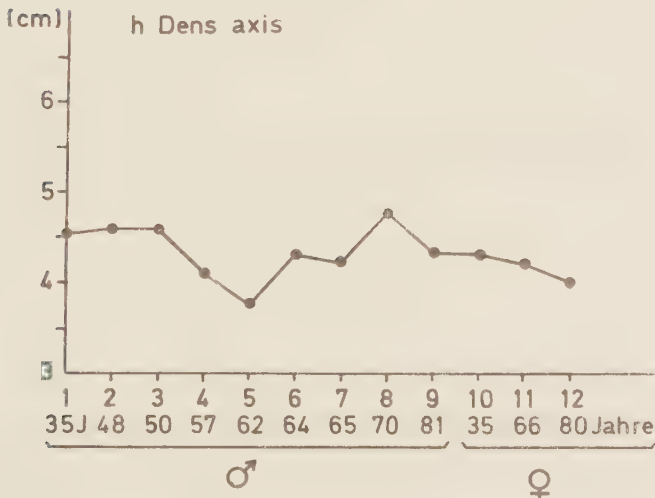


Abb.7:

Der Abstand der Processus transversi axis beträgt maximal 6,90cm, minimal 4,92cm, bei einem Mittelwert von 6,01cm. Die Standardabweichung beträgt 0,62cm. Es ergibt sich, daß der Axiswirbel durchschnittlich um 1,7cm breiter ist als hoch, oder grob gesagt ein Verhältnis von Breite zu Höhe wie 3:2. Der Korrelationskoeffizient für die Höhe des Axiskörpers und dessen Breite, gemessen am Abstand der Processus transversi, beträgt  $r=0,72$  in positiver Richtung.

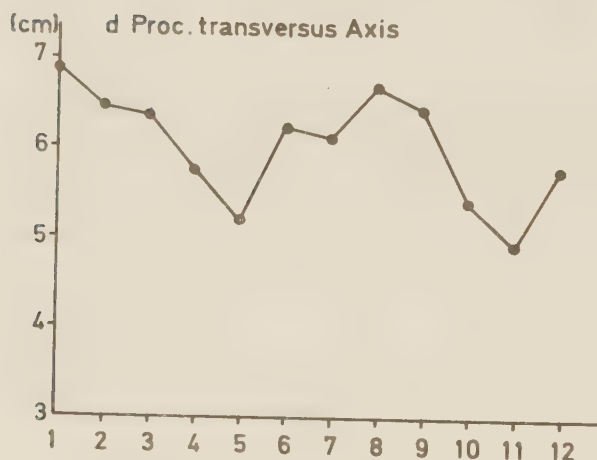


Abb.8:

Abstände der Processus transversi axis

Die Kurven der queren Abstände der Gelenkflächen von Atlas und Axis verlaufen nahezu parallel. Es zeigen sich Differenzen von höchstens 1mm. Insgesamt kann festgestellt werden, daß die Atlasgelenkflächen diejenigen des Axis um 0,2mm auf jeder Seite überragen. Der Abstand der Processus transversi ist im Mittel 5,5mm auf jeder Seite größer als der der Axisgelenkflächen.

Der Korrelationskoeffizient für den Abstand der Processus transversi axis und den der Gelenkflächen beträgt  $r=0,79$ .

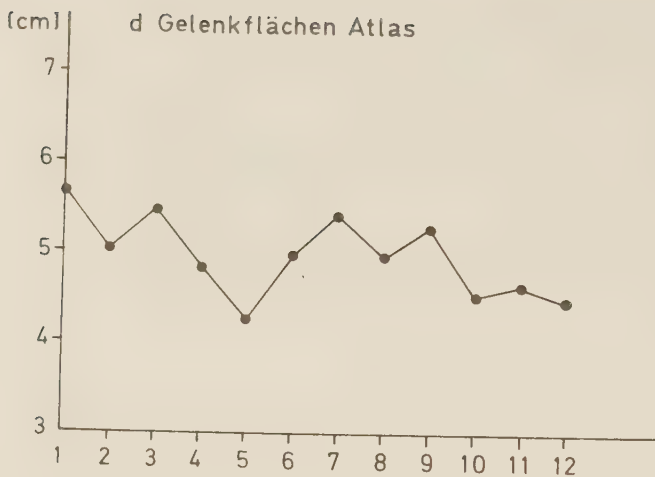


Abb.9:

Quere Abstände der Atlasgelenkflächen



Abb.10:

Quere Abstände der Axisgelenkflächen

Ein Vergleich der Gelenkachsenwinkel zeigt, daß sich die beiden Winkel ebenfalls in charakteristischer Weise miteinander ändern. Der Mittelwert des Gelenkachsenwinkels der Axisgelenkflächen liegt bei 116 Grad, der des Gelenkachsenwinkels der unteren Atlasgelenkflächen bei 129 Grad. Die Winkelgrößen sind weitgehend unabhängig von den übrigen Parametern der Wirbel.

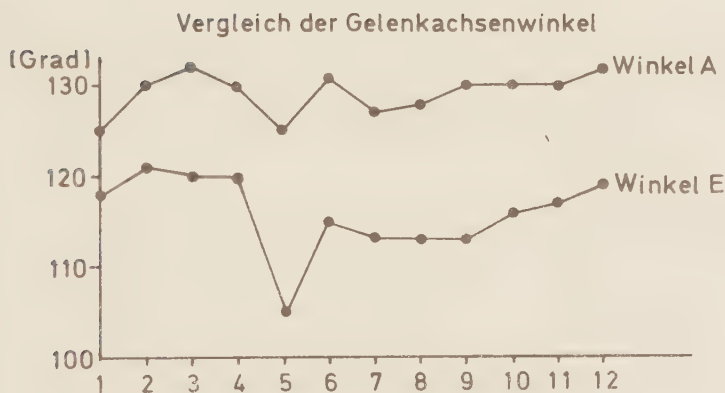


Abb. 11:

Vergleich der Gelenkachsenwinkel von Atlas(A) und Axis(E)



Abb.12:

Gelenkachsenwinkel der unteren Atlasgelenkflächen



Abb.13:

Gelenkachsenwinkel der oberen Axisgelenkflächen

Die Flächendiagramme der vier nach der Abdruckmethode bestimmten Gelenkflächen: Axis oben rechts und Axis oben links sowie Atlas unten rechts und Atlas unten links verlaufen annähernd parallel. Die rechten und linken Axisflächen weisen den gleichen Mittelwert auf: 117mg entsprechend  $2,86\text{cm}^2$ . Die linke Atlasfläche ist um 4mg entsprechend  $0,17\text{cm}^2$  größer bzw. schwerer als die rechte.

Deutliche Unterschiede zeigen jedoch die miteinander artikulierenden Flächen. Auf der rechten Seite ist die Axisfläche um 16mg ( $0,40\text{cm}^2$ ), links um 12mg ( $0,32\text{cm}^2$ ) schwerer bzw. größer als die entsprechende rechte.

Die Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Wertepaare betragen:

Axis oben rechts zu Axis oben links:  $r=0,92$

Atlas unten rechts zu Atlas unten links:  $r=0,98$

Axis oben rechts zu Atlas unten rechts:  $r=0,80$

Axis oben links zu Atlas unten links:  $r=0,90$

Die Kurven der Gelenkflächengrößen zeigen weitgehende Übereinstimmung mit den Kurven der queren Abstände der Gelenkflächen sowie der Kurve der Abstände der Processus transversi.

Korrelationskoeffizienten:

d Gelenkflächen Atlas zu Atlas unten rechts:  $r=0,73$

d Gelenkflächen Axis zu Axis oben rechts:  $r=0,85$

d Processus transversus Axis zu Axis oben rechts:  $r=0,83$

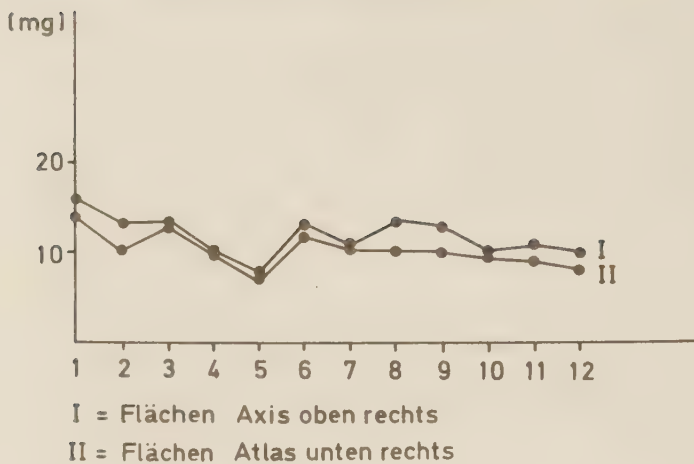


Abb. 14:

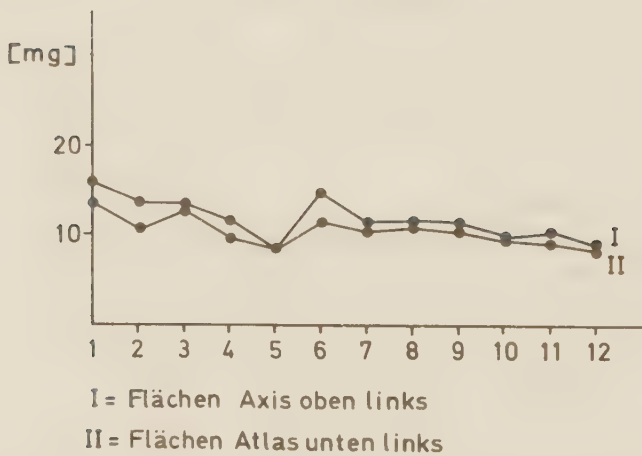


Abb. 15:



Abb. 16:



Die Gelenkflächen des vorderen Zahngelenks zeigen ebenfalls fast gleichen Kurvenverlauf. Die Flächen an der Ventralseite des Zahnes betragen 36mg ( $0,88\text{cm}^2$ ) und sind durchschnittlich um 7mg ( $0,17\text{cm}^2$ ) schwerer bzw. größer als die korrespondierenden Atlasbogenflächen. Der Korrelationskoeffizient für die Atlasbogenflächen und die ventralen Gelenkflächen des Zahnes beträgt  $r=0,96$ . Ein Vergleich der unteren Atlasgelenkflächen mit der Atlasbogenfläche ergibt eine schwache Korrelation in negativer Richtung mit  $r=-0,25$ .

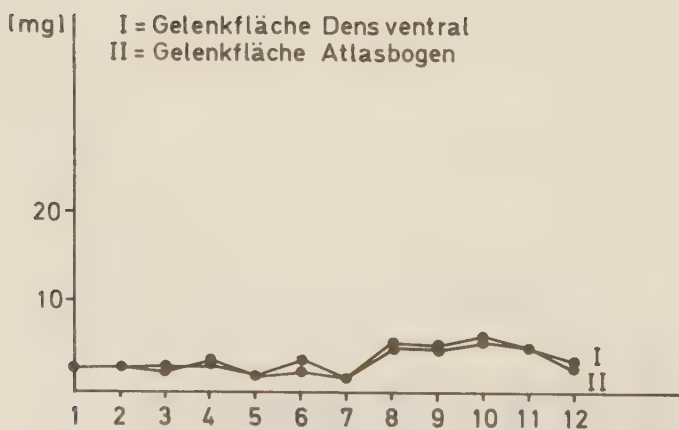


Abb. 18:

Vergleich der Flächengrößen der Facies articularis anterior dentis und der Fovea dentis des vorderen Atlasbogens.

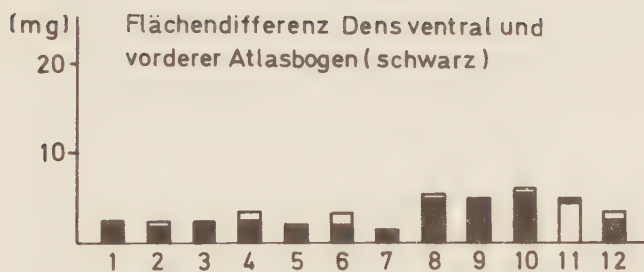


Abb.19:

Flächendifferenz der miteinander artikulierenden Gelenkflächen des vorderen Zahngelenks.

### 3.3. Bestimmung des Gelenkachsenwinkels anhand von Röntgenbildern

Der an den überknorpelten Gelenkflächen auffällige Unterschied der Gelenkachsenwinkel der unteren Atlasgelenkflächen zu den oberen Axisgelenkflächen sollte anhand von Röntgenaufnahmen der gleichen Wirbel präzisiert werden.

#### Methode:

Die Wirbel wurden so aufgenommen, wie sie sich bei der a-p Aufnahme normalerweise darstellen, und die Winkel entlang der klar abgrenzbaren Knochenstruktur der Gelenkflächen gemessen. Der Weichteilschatten des Gelenkknorpels war nur unscharf, und nicht eindeutig für die Messungen zu verwenden.

#### Beobachtung:

Alle Atlasgelenkflächen waren konkav; die Winkel wurden gemessen wie oben bereits beschrieben.

Die Axisgelenkflächen sind in ihrer Knochenstruktur doppelt gekrümmt, und zwar zeigen sie an den lateralen zwei Dritteln eine Konkavität, die nach medial in eine konvexe Krümmung übergeht. Dieser mediale konvexe Buckel ist vielleicht die Stelle der stärksten Druckbelastung und Ausdruck einer ossären Reaktion.

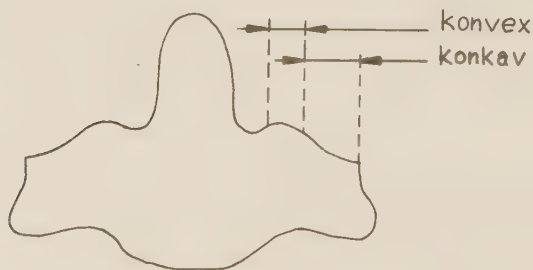


Abb.20:

## Ergebnis:

Der Gelenkachsenwinkel der beiden unteren Atlasgelenkflächen beträgt am Röntgenbild durchschnittlich 131 Grad. Direkt am Präparat gemessen sind es 129 Grad. Die oberen Axisgelenkflächen schließen laut Röntgenaufnahme einen Winkel von 130 Grad ein. Der direkt an den überknorpelten Gelenkflächen gemessene Winkel beträgt hingegen 116 Grad. Eine wesentliche Winkeldifferenz der miteinander artikulierenden Gelenkflächen kann am Röntgenbild nicht erkannt werden.

### 3.4. Messung der Dicke des Gelenkknorpels

Es ist zu erwarten, daß der steilere Gelenkachserwinkel, der sich bei der Direktmessung gegenüber dem flacheren bei der Bestimmung am Röntgenbild des Axis ergibt, seine Erklärung findet in der Knorpelstruktur, die die Gelenkfläche überzieht.

Daher wurde mit einem scharfen Messer quer über die Gelenkflächen von medial nach lateral ein Span des Gelenkknorpels herausgeschnitten und dessen Stärke mit der Schublehre gemessen.

## Ergebnis:

Der Gelenkknorpel ist in der Mitte dicker als an den Seiten, und er ist über den Axisgelenkflächen stärker als über den entsprechenden Flächen des Atlas.

Im einzelnen ergeben sich folgende Meßwerte im Mittel:  
Gelenkknorpel der unteren Atlasgelenkflächen:

Lateral: 0,4mm

Zentral: 1,0mm

Medial: 0,4mm

Gelenkknorpel der oberen Axisgelenkflächen

Lateral: 0,6mm

Zentral: 1,8mm

Medial: 0,8mm

Der Knorpel der Atlasgelenkflächen füllt somit in den meisten Fällen gerade die Konkavität des knöchernen Gelenkfortsatzes aus. Für die Winkelgröße ergeben sich daraus keine Konsequenzen.

Der dickere Knorpel über den Axisgelenkflächen läßt diese nun insgesamt konvex erscheinen. Es resultiert eine mediale Erhöhung der Gelenkfläche, da der Knorpel medial etwas dicker ist als lateral, und sich auf die ohnehin schon bestehende Konvexität in diesem Bereich auflagert. Eine Skizze zeigt deutlich, daß mit diesem Phänomen die gefundene Winkeldifferenz erklärt werden kann.

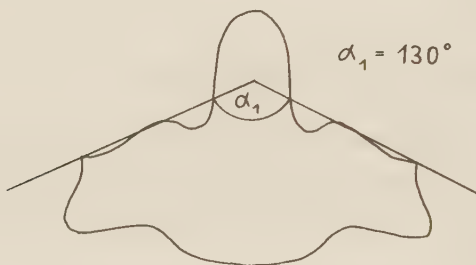


Abb.21:

Gelenkachsenwinkel im Röntgenbild

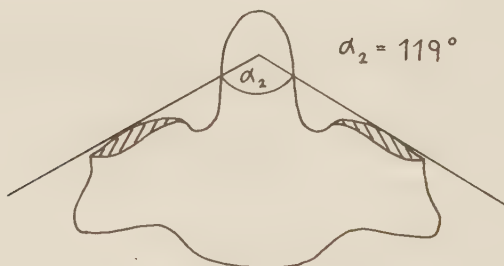


Abb.22:

Gelenkachsenwinkel an überknorpelter Gelenkfläche gemessen

#### 4. Interpretation der Ergebnisse

##### 4.1. Allgemeine Aussagen:

##### 4.1.1. Verteilung:

Bei der geringen Anzahl der gemessenen Wirbel können keine verbindlichen Aussagen über die Verteilung der Meßwerte gemacht werden. Man kann jedoch sagen, daß bei einer genügend großen Anzahl von Meßobjekten die vorliegenden Wirbel ihren Platz innerhalb einer Gausschen Normalverteilungskurve fänden; denn die Variationsbreite der Meßwerte ist jeweils geringer als die vierfache Standardabweichung und die meisten Meßwerte liegen innerhalb der doppelten Standardabweichung.

Die drei Meßwerte am zweiten Halswirbel: Höhe, Breite und Abstand der Gelenkflächen, ändern sich bei den untersuchten Objekten in charakteristischer und gleichartiger Weise. Man kann feststellen, daß die Wirbel harmonisch gebaut sind, d.h. der Axiswirbel mit der geringsten Höhe, hat auch die am wenigsten ausladenden Processus transversi und einen entsprechend kleinen Abstand der Gelenkflächen. Dazu passen dann auch die kleinen Gelenkflächen.

Die statistischen Korrelationen, durch die die genannten Parameter verbunden sind, stützen diese Überlegung. Man kann daher davon ausgehen, daß die vorliegenden Meßwerte nicht von fehlgebildeten oder dysplastischen Wirbeln stammen. Ein Blockwirbel C2/C3 wich in seinen Meßwerten nicht von den übrigen Maßen ab.

##### 4.1.2. Alter:

Das Durchschnittsalter der vorliegenden Wirbel beträgt 59 Jahre. Dabei stammen zwei Präparate von 35-jährigen Personen und zwei von 80- bzw. 81-jährigen.

Die Größenausdehnung des Axis zeigt keinen Altersunterschied. Zwar werden durchweg die größten Meßwerte auch der Gelenkflächengrößen des Atlanto-Axial-Gelenks beim jüngeren Mann gefunden, doch berechtigt dies allein nicht zu einer Aussage.

Die von MARKUSKE (1961) gefundenen Mittelwerte für die Sagit-

talflexion im C1/C2 Gelenk von 20 Grad bei Kindern gegenüber 15 Grad bei Erwachsenen (BROCHER 1955 und LEWIT und KRAUSOVÁ 1963), dürften eher auf die noch stärkere Auflockerung der Bindegewebsstrukturen und den noch kurzen Dornfortsatz von C2 zurückzuführen sein, als auf unterschiedliche Gelenkflächengrößen.

Ein weiterer Verlust der Beweglichkeit der Halswirbelsäule im höheren Alter, wie ihn RÖBLER und SCHMEISER (1958) feststellen, trifft speziell für das untere Kopfgelenk nicht zu und könnte auch auf Grund der Gelenkflächengrößen bzw. -größenunterschiede nicht vermutet werden.

#### 4.1.3. Geschlechtsunterschiede:

Aus den vorliegenden Messungen sind keine deutlichen Geschlechtsunterschiede zu erkennen. Höchstwerte werden von den drei weiblichen Wirbeln jedoch nicht erreicht.

#### 4.2. Spezielle Aussagen:

##### 4.2.1. Die Höhe der Axiswirbel:

Die hier gefundene mittlere Höhe der Axiswirbel einschließlich des Zahnfortsatzes von 4,3cm kann als Anhaltspunkt dienen für die Beurteilung einer Denshypoplasie.

Ein hypoplastischer Dens geht meist mit einem Os odontoidum einher und bedeutet eine instabile Atlas- Axis Verbindung. Die Folge ist eine chronische progressive Ventralluxation des Atlas mit Gefahr der Schädigung des oberen Halsmarks. VON TORKLUS und GEHLE (1970) führen als Kriterium eines verkürzten Dens an, daß er nicht den oberen Rand des vorderen Atlasbogens erreiche. Dies kann jedoch zu Fehlbeurteilungen führen, wenn dabei nicht die Stellung der Halswirbelsäule mit berücksichtigt wird; denn bei der Dorsalflexion gleitet der vordere Atlasbogen am Zahn nach oben und kann somit unter Umständen über einen normal hohen Zahn zu liegen kommen.

Hervorzuheben wäre noch, daß die Meßwerte für die Wirbelkörperhöhe von C2 im Gegensatz zu den anderen Para-

metern eine sehr geringe Variationsbreite von 1cm haben. Dies kann als Hinweis darauf gewertet werden, daß eine möglichst genaue Einhaltung der Denshöhe von funktionseller, in diesem Falle von vitaler Bedeutung ist. DREXLER (1962) gibt als mittlere Höhe von C2 bei über 50-jährigen 4,0cm an.

#### 4.2.2. Die Breite der Axiswirbel:

Für die Breite des Axis, repräsentiert durch den queren Abstand der Processus transversi und den Abstand der oberen Gelenkflächen betragen die Maßzahlen 6,0cm bzw. 4,9cm.

Infolge der guten Korrelation mit den Flächen des Atlanto-Axial-Gelenkes können diese Abstände zur indirekten Bestimmung der genannten Flächen herangezogen werden. Der Abstand der Processus transversi axis spielt eine Rolle bei der von VELEANU (1973) beschriebenen "cervical locking deficiency". Bei normalen Kopfbewegungen hakt sich der Processus transversus axis an der Spitze des oberen Gelenkfortsatzes (Processus pyramidalis) des darunterliegenden Wirbels fest, wodurch ein Verschlußmechanismus entsteht, welcher zur Stabilität der Halswirbelsäule und zur Sicherheit der Gefäße und Nervenwurzeln beiträgt. Eine Insuffizienz dieses "Einschnapp-Phänomens" zum Beispiel bei Fehlentwicklung des Processus transversus kann zur Schädigung der Gefäß-Nerven-Strukturen in diesem Bereich führen.

#### 4.2.3. Der Gelenkachsenwinkel:

Der im Röntgenbild auffällige breite Gelenkspalt zwischen Atlas- und Axisgelenkflächen verkleinert sich beträchtlich, zieht man die Dicke des Gelenkknorpels mit in Betracht. Der Gelenkspalt verschmälert sich dadurch insbesondere medial. Dies hat eine leichte Divergenz der Gelenkflächen im lateralen Gelenkbereich zur Folge. Die atlanto-axialen Gelenkflächen klaffen also nicht nur im Sagittalschnitt ventral und dorsal (FICK 1904 und KNESE

1936), sondern auch in der Frontalebene lateral.

Die von HULTKRANTZ (1912) und auch KNESE (1948) angewandte Methode der Bestimmung der Stellung der Gelenkflächen mit Hilfe von Pappscheiben bzw. Umrisszeichnungen an Röntgenbildern, wobei versucht wurde, die rechten und linken Gelenkflächen in jedem Fall auf einen gemeinsamen Krümmungskreis zu legen, scheint mir weniger geeignet, da ein solcher Kreis individuelle Asymmetrien nicht berücksichtigt und insgesamt die Fläche zu stark nivelliert.

Da die seitlichen Gelenke zwischen Atlas und Axis offenbar lateral einen Spielraum haben, der bis jetzt noch nicht im Schrifttum erwähnt ist, kann man versuchen, die Beschreibung des Gelenkspiels dahingehend zu ergänzen:

Bei der Lateralflexion tritt, zusätzlich zu der normalerweise vertikal in Richtung der Wirbelsäulenachse wirkenden Schwerkraft, eine horizontal zur Seite der Neigung gerichtete Kraft auf. Diese waagrechte Komponente ist es, die den Atlas aus seiner normalen Lage herausrückt und in eine asymmetrische Stellung bringt. Das seitliche Überstehen der Massa lateralis wird auf dem Röntgenbild verstärkt durch die projektive Verkürzung der sich drehenden oberen Axisgelenkfläche. Die senkrechte Kraftkomponente drückt den Atlas auf der Seite der Neigung stärker auf den Axis, so daß mit einer leichten Atlaskippung der keilförmige Spalt zwischen den Gelenkflächen verschwindet. Der Atlas hat sich daher auf der Seite der Neigung etwas gesenkt, auf der Gegenseite leicht gehoben. Infolge der Axisdrehung zur Gegenseite, müßte sich die Seitenmasse des Atlas noch weiter senken, da sie am Ende der Bewegung auf den tieferstehenden ventralen Anteil der Axisgelenkfläche zu liegen kommt. Die Senkung des Atlas und damit auch des entsprechenden Kondylus findet ihren Ausdruck in dem zur Neigungsseite konvergierenden Winkel, den die Foramenmagnum-Ebene und die Axisebene einschließen.

Eine weitere Überlegung bzw. Untersuchung wert wäre die Beziehung zwischen dem atlanto-okzipitalen und dem atlanto-axialen Gelenkachsenwinkel. Ersterer wird normalerweise mit 125 Grad angegeben; seine Verbreiterung ist maßgeblich für die Diagnose der kondylären Hypoplasie, welche unter anderem mit einer Funktionseinschränkung im oberen Kopfgelenk und, wie SCHMIDT (1964) berichtet, auch im unteren einhergeht. Allein von der Architektur der Gelenke her scheint ein Zusammenhang zwischen beiden Winkeln zu bestehen. Interessant wäre zu wissen, ob sich der Gelenkachsenwinkel zwischen Atlas und Axis ändert, wenn der atlanto-okzipitale Gelenkachsenwinkel abgeflacht ist wie bei der kondylären Hypoplasie, oder wenn er steiler als normal erscheint bei großer Schädelhöhe (BERNHARD 1974), und ob davon die Beweglichkeit beeinflusst wird.

#### 4.2.4. Die Gelenkflächen:

Die Gelenkflächengrößen des Axis weisen eine Schwankungsbreite zwischen  $2\text{cm}^2$  und  $4\text{cm}^2$  auf, die des Atlas zwischen  $1,7\text{cm}^2$  und  $3,4\text{cm}^2$ . Dabei war in jedem einzelnen Fall die obere Gelenkfläche des Axis größer als die untere Fläche des Atlas.

Messungen der Intervertebralgelenkflächen der gesamten Wirbelsäule von MÜLLER und STOFFT (1971) zeigen gleiches Verhalten für das Zwischenwirbelgelenk C7/Th1 und für die Lendenwirbelsäule mit einer maximalen Differenz bei L4/S1. Betrachtet man die Lokalisation dieser drei Zwischenwirbelgelenke im Verlauf der Wirbelsäule, so darf man annehmen, daß die Wirbel mit den jeweils größeren oberen Gelenkflächen spezielle Trägerfunktionen übernehmen. Ihre Lage an den Übergangsstellen der normalen Wirbelsäulenkrümmungen stellt besondere statische Anforderungen an sie. So müßte, in Erkenntnis dieser Tatsache, der Axis dem Atlas eigentlich den Namen streitig machen; denn er trägt in Wirklichkeit den Kopf, während der Atlas als beweglicher "Discus" und Drucküberträger fungiert. Dem ersten Brustwirbel kann man

demnach die Tragefunktion für die Halswirbelsäule zuordnen, während das Kreuzbein die stabile Basis der Gesamtwirbelsäule darstellt.

Die große obere Axisgelenkfläche könnte zusätzlich als Bremse für übergroße Atlasekkursionen gewertet werden und das Gelenkspiel des Atlas hemmen.

Umgekehrt wird die größte Beweglichkeit der Halswirbelsäule im Segment C5/C6 gefunden, wo konstant die obere Intervertebralgelenkfläche von C6 kleiner ist als die untere von C5. Parallel mit der guten Beweglichkeit in diesem Bereich geht die Häufigkeit des Auftretens von Spondylosis und Spondylarthrosis (VON TORKLUS und GEHLE 1970), während im unteren Kopfgelenk keine degenerativen Veränderungen gefunden werden, was zum Teil in dem Fehlen von Zwischenwirbelscheiben begründet ist. Einen Zusammenhang mit der Beweglichkeit zu sehen ist vielleicht trotz dieses Einwandes erlaubt; denn beim Morbus Bechterew bleibt ebenfalls oft als einziges Gelenk der gesamten Wirbelsäule das laterale Atlanto-Axial-Gelenk von der Versteifung verschont (HOHMANN und WALCHER 1967).

Auch zu der bereits erwähnten größeren Differenz der Gelenkflächengrößen rechts findet sich eine Parallele. Es bestehen 16mg entsprechend  $0,4\text{cm}^2$  Differenz rechts, 12mg entsprechend  $0,31\text{cm}^2$  Differenz links. Im Segment C7/Th1 ist sie rechts ebenfalls deutlicher ausgeprägt.

Ob hierbei ein Zusammenhang besteht mit den Angaben, der linke Kondylus sei höher als der rechte und begünstige somit die Stellung des Kopfes nach vorn und rechts entsprechend der Rechtshändigkeit (STRECKER 1887) und der Vermutung einer stärkeren Belastung des rechten Kondylus bei Rechtshändern als Ausdruck der physiologischen Thorakalskoliose (GREVELLIUS-INGELMARK 1942), bleibt weiterhin zu diskutieren.

Die Gelenkflächen des vorderen Zahngelenks sind kleiner als  $1\text{cm}^2$ . Auch hier findet sich eine deutlich ausgeprägte

Flächendifferenz, wobei die Gelenkfläche am Zahn diejenige am Atlasbogen um etwa 20% übertrifft. Dieser Unterschied ist funktionell notwendig; denn bei der Sagittalexkursion steigt der Atlasbogen am Zahn auf und ab, muß aber in jeder Stellung in gelenkigem Kontakt bleiben, ebenso bei der Rotation, wo die Fovea dentis ein Stück am ventralen Densumfang entlangschleift.

Bei der Betrachtung der Gelenkflächen des vorderen Zahn- und der lateralen Atlas-Axis-Gelenke sowie bei der entsprechenden Korrelationsanalyse entsteht der Eindruck, daß die Atlasbogen-Dens-Gelenkflächen umso größer werden, je kleiner die Atlas-Axis-Gelenkflächen sind. Das Zahngelenk bleibt, im Gegensatz zu den lateralen atlanto-axialen Gelenken, von arthrotischen Prozessen nicht verschont.

#### 4.3. Zusammenfassung

Die Frühentwicklung der am unteren Kopfgelenk beteiligten Elemente wurde an histologischen Schnitten von Embryonen und Feten verfolgt.

Anhand von zwölf Atlas-Axis-Präparaten verschiedenen Alters wurden die morphologischen Parameter des unteren Kopfgelenks bestimmt und miteinander in Beziehung gesetzt. Die Ergebnisse wurden verglichen mit entsprechenden Messungen an Röntgenbildern.

- 1) Es ergibt sich ein harmonisches Bauprinzip des Axiswirbels und der dazugehörigen Gelenkflächen.
- 2) Morphologische Differenzen bezüglich Alter und Geschlecht können nicht festgestellt werden.
- 3) Es werden Mittelwerte für Höhe und Breite des zweiten Halswirbels angeben, die als Normalwerte bei der Beurteilung pathologischer Veränderungen herangezogen werden können.
- 4) Eine Differenz der Gelenkachsenwinkel zwischen Atlas und Axis beruht auf der speziellen Struktur der Knorpelaufgabe über den oberen Axisgelenkflächen. Gelenkmechanische Folgerungen werden diskutiert.
- 5) Die Flächendifferenz zwischen unterer Atlasgelenkfläche (kleiner) und oberer Axisgelenkfläche (größer) kann als wesentlich für die Tragfunktion des Axis gewertet werden. Die Gelenkflächendifferenz zwischen Fovea dentis (kleiner) und vorderer Zahngelenkfläche (größer) wird als notwendig für die reibungslose Funktion des Gelenkspiels angesehen.

# 5. Anhang: Tabellen

Tab.4: Messungen mit der Schublehre (in cm)

| Wirbel<br>Nr.           | h Dens | d Proc.trans. | d Gel.<br>Atlas | d Gel.<br>Axis |
|-------------------------|--------|---------------|-----------------|----------------|
| 1                       | 4,52   | 6,90          | 5,65            | 5,72           |
| 2                       | 4,60   | 6,48          | 5,01            | 4,95           |
| 3                       | 4,60   | 6,36          | 5,48            | 5,43           |
| 4                       | 4,11   | 5,75          | 4,82            | 4,38           |
| 5                       | 3,75   | 5,18          | 4,23            | 4,09           |
| 6                       | 4,33   | 6,23          | 4,95            | 4,91           |
| 7                       | 4,22   | 6,11          | 5,39            | 5,33           |
| 8                       | 4,77   | 6,68          | 4,94            | 4,95           |
| 9                       | 4,34   | 6,43          | 5,51            | 5,41           |
| 10                      | 4,34   | 5,37          | 4,50            | 4,45           |
| 11                      | 4,24   | 4,92          | 4,61            | 4,63           |
| 12                      | 4,02   | 5,76          | 4,46            | 4,54           |
| Mittelwert              | 4,32   | 6,01          | 4,97            | 4,93           |
| Standard-<br>abweichung | 0,28   | 0,62          | 0,53            | 0,51           |

Tab.5: Gelenkflächengrößen nach der Abdruckmethode (in mg)

| Wirbel                  | Axis  | Axis  | Atlas | Atlas | Atlasbogen | Dens ventral |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|--------------|
| Nr.                     | o.re. | o.li. | u.re. | u.li. |            |              |
| 1                       | 162   | 163   | 138   | 135   | 19         | 23           |
| 2                       | 132   | 136   | 106   | 107   | 19         | 25           |
| 3                       | 136   | 133   | 130   | 132   | 20         | 22           |
| 4                       | 102   | 116   | 98    | 97    | 24         | 33           |
| 5                       | 79    | 78    | 69    | 78    | 15         | 19           |
| 6                       | 130   | 145   | 118   | 114   | 21         | 34           |
| 7                       | 109   | 112   | 103   | 102   | 12         | 15           |
| 8                       | 134   | 117   | 99    | 110   | 49         | 54           |
| 9                       | 126   | 113   | 98    | 105   | 45         | 50           |
| 10                      | 98    | 98    | 91    | 97    | 55         | 61           |
| 11                      | 107   | 105   | 89    | 92    | 48         | 45           |
| 12                      | 98    | 90    | 77    | 86    | 25         | 35           |
| Mittelw.                | 117   | 117   | 101   | 105   | 29         | 36           |
| Standard-<br>abweichung | 23    | 23    | 20    | 16    | 15         | 14           |

o. =oben

u. =unten

re.=rechts

li.=links

Tab.6: Gelenkflächengrößen umgerechnet in cm<sup>2</sup>

1 cm<sup>2</sup> entspricht 41 mg Aluminiumfolie.

| Winkel     | Axis  | Axis  | Atlas | Atlas | Atlasbogen | Dens ventral |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------|--------------|
| Nr.        | o.re. | o.li. | u.re. | u.li. |            |              |
| 1          | 3,95  | 3,97  | 3,36  | 3,29  | 0,46       | 0,56         |
| 2          | 3,21  | 3,31  | 2,58  | 2,60  | 0,46       | 0,60         |
| 3          | 3,31  | 3,24  | 3,17  | 3,21  | 0,48       | 0,53         |
| 4          | 2,48  | 2,82  | 2,39  | 2,36  | 0,58       | 0,80         |
| 5          | 1,92  | 1,90  | 1,68  | 1,90  | 0,36       | 0,53         |
| 6          | 3,17  | 3,53  | 2,87  | 2,78  | 0,51       | 0,82         |
| 7          | 2,65  | 2,73  | 2,51  | 2,48  | 0,29       | 0,36         |
| 8          | 3,26  | 2,85  | 2,41  | 2,68  | 1,19       | 1,31         |
| 9          | 3,07  | 2,75  | 2,39  | 2,56  | 1,09       | 1,21         |
| 10         | 2,39  | 2,39  | 2,21  | 2,36  | 1,34       | 1,48         |
| 11         | 2,60  | 2,56  | 2,17  | 2,24  | 1,17       | 1,09         |
| 12         | 2,31  | 2,19  | 1,87  | 2,09  | 0,60       | 0,85         |
| Mittelw.   | 2,86  | 2,86  | 2,46  | 2,55  | 0,71       | 0,84         |
| Standard-  | 0,55  | 0,57  | 0,48  | 0,41  | 0,37       | 0,35         |
| abweichung |       |       |       |       |            |              |

o. = oben

u. = unten

re.= rechts

li.= links

Tab.7: Meßwerte der Gelenkachsenwinkel (in Grad)

| Wirbel<br>Nr.      | Atlas |     | Axis |     | Differenz |     |
|--------------------|-------|-----|------|-----|-----------|-----|
|                    | ü.    | Rö. | ü.   | Rö. | ü.        | Rö. |
| 1                  | 125   | 127 | 118  | 125 | 7         | 2   |
| 2                  | 130   | 131 | 121  | 132 | 9         | -1  |
| 3                  | 132   |     | 120  | 129 | 12        |     |
| 4                  | 130   | 130 | 120  | 129 | 10        | 1   |
| 5                  | 125   | 135 | 105  | 133 | 20        | 2   |
| 6                  | 131   |     | 115  | 130 | 16        |     |
| 7                  | 127   | 131 | 113  | 130 | 14        | 1   |
| 8                  | 128   |     | 113  | 129 | 15        |     |
| 9                  | 130   |     | 113  | 133 | 17        |     |
| 10                 | 130   | 133 | 116  | 131 | 14        | 2   |
| 11                 | 130   |     | 117  | 131 | 13        |     |
| 12                 | 129   |     | 116  | 132 | 13        |     |
| Mittelwert         | 129   | 131 | 116  | 130 | 13        | 1   |
| Standardabweichung | 2,4   | 2,4 | 4,4  | 2,3 | 3,6       | 1,1 |

ü. = Messung am überknorpelten Präparat

Rö.= Messung am Röntgenbild

Tab.8: Tabelle der Maßzahlkorrelationen nach Pearson

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{(n-1) s_x s_y} \quad n=12$$

|                                          |          |
|------------------------------------------|----------|
| h Dens zu d Proc. trans.:                | r= 0,72  |
| d Gel. Axis zu Axis oben rechts:         | r= 0,85  |
| d Proc. trans. zu d Gel. Axis:           | r= 0,79  |
| d Proc. trans. zu Axis oben rechts:      | r= 0,83  |
| d Gel. Atlas zu Atlas unten rechts:      | r= 0,73  |
| Atlasbogen zu Dens ventral:              | r= 0,96  |
| Atlas unten rechts zu Atlasbogen:        | r= -0,25 |
| Axis oben rechts zu Axis oben links:     | r= 0,92  |
| Atlas unten rechts zu Atlas unten links: | r= 0,98  |
| Axis oben rechts zu Atlas unten rechts:  | r= 0,80  |
| Axis oben links zu Atlas unten links:    | r= 0,90  |
| Winkel Axis zu Axis oben rechts:         | r= 0,40  |
| Winkel Atlas zu Atlas unten rechts:      | r= 0,00  |

Der tabellarische v-Wert für f= n-2 beträgt

$$\text{tab } (\alpha=1\%) = 0,708$$

Das heißt: Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von ein Prozent besteht Signifikanz bei Korrelationskoeffizienten von 0,708 und höher.

## 6. LITERATURVERZEICHNIS

1. BAKKE, S.N.: Röntgenologische Beobachtungen über die Beweglichkeit der Wirbelsäule. Acta radiol.18, Suppl.13, 7-71, Stockholm 1931
2. BERNHARD, W.: Statistische Untersuchungen zur funktionellen Morphologie des oberen Kopfgelenkes beim Menschen. Inauguraldissertation, Med. Fak. Mainz 1974
3. BRANDT, W.: Lehrbuch der Embryologie. Basel 1949
4. BROCHER, J.E.W.: In: Schinz, Glauner, Uehlinger: Neuere Ergebnisse der Wirbelsäulendiagnostik. Röntgendiagnostische Ergebnisse 1952-1956, Stuttgart 1957
5. BROCHER, J.E.W.: Die Okzipito-Zervikal-Gegend. Stuttgart 1955
6. BUETTI-BÄUML, C.: Funktionelle Diagnostik der Halswirbelsäule. Stuttgart 1954
7. DJIAN, A. und ZINN, W.: Der Wert der funktionellen Röntgenuntersuchung der Gelenke zwischen erstem und zweitem Halswirbel. Zeitschr.f. Rheumaforsch.18, 279-291 (1959)

8. DREXLER, L.: Röntgenanatomische Untersuchungen über Form und Krümmung der Halswirbelsäule in den verschiedenen Lebensaltern.  
Habil.Schrift Universität Freiburg, Schweiz 7-38 (1962)
9. EXNER, G.: Die Halswirbelsäule.  
Pathologie und Klinik.  
Stuttgart 1959
10. FICK, R.: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke.  
Teil 1: Anatomie der Gelenke, Jena 1904  
Teil 3: Spezielle Gelenk- und Muskelmechanik, Jena 1911
11. FISCHEDICK, O.: Die Schichtbilduntersuchung von Atlas und Epistropheus beim Gesunden.  
Die Wirbelsäule in Forsch.u.Praxis 1, 63-69 Stuttgart 1956
12. FISHER, L.: Intérêt de l' étude anatomo-radiologique du disque inter-axo-ontoidien.  
Journ. de radiologie d electrologie et de Medecine nuclaire. 50, 847-848 Paris 1969
13. GUTMANN, G.: Atlaskippen bei Sagittalflexion.  
Die Wirbelsäule in Forsch.u.Praxis 15, 83-102 Stuttgart 1960
14. GREVELLIUS-INGELMARK: zitiert nach KNESE , S.:71, (1948)

15. HENKE, P.J.W.: Die Bewegung zwischen Atlas und Epistropheus.  
Zeitschr. f. Rationelle Med. 2,  
3. Reihe, 114-118 (1858)
16. HOHNANN, D. und WALCHER, K.: Röntgenologisch-funktionelle Studien der Atlanto-Okzipital-Region bei Spondylarthritidis ankylopoetika (Bechterew).  
Zeitschr. f. Orthopädie 103, 5-23 (1967)
17. HULTKRANTZ, J.V.: Zur Mechanik der Kopfbewegung des Menschen.  
Kung. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar 49, 3-38 (1912)
18. JIROUT, J.: Studien zur Dynamik der Halswirbelsäule in der frontalen und horizontalen Ebene.  
Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen 106, 236-240 (1967)
19. KNESE, K.H.: Das Kopfgelenk der aquatilen Säugetiere.  
Morphol. Jahrb. 78, 314-376 (1936)
20. KNESE, K.H.: Kopfgelenk, Kopfhaltung und Kopfbewegung des Menschen.  
Zeitschr. f. Anat. u. Entwickl.-Gesch. 114, 67-107 (1948)
21. LEMIT, K. und KRAUSOVÁ, L.: Beitrag zur Flexion der Halswirbelsäule.  
Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen 97, 38-44 (1962)

22. LEWIT, K. und KRAUSOVÁ, L.: Messungen von Vor- und Rückbeuge in den Kopfgelenken.  
Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen 99, 538-543 (1963)
23. LEWIT, K.: Funktionelle Röntgendiagnostik der Wirbelsäule.  
Die Wirbelsäule in Forsch. u. Praxis 28, 23-27, Stuttgart 1964
24. LEWIT, K. und KRAUSOVÁ, L.: Mechanismus und Bewegungsausmaß der Seitneigung in den Kopfgelenken.  
Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen 101, 194-201 (1964)
25. LEWIT, K. und KRAUSOVÁ, L.: Mechanismus und Bewegungsausmaß in den Kopfgelenken bei passiven Bewegungen.  
Zeitschr.f. Orthopädie 103, 323-332 (1967)
26. LUDWIG, K.S.: Die Frühentwicklung des Atlas- und Okzipitalwirbels beim Menschen.  
Acta Anatomica 30, 344 (1957)
27. MARKUSKE, H.: Untersuchungen zur Statik und Dynamik der kindlichen Halswirbelsäule.  
Der Aussagewert seitlicher Röntgenaufnahmen.  
Die Wirbelsäule in Forsch. u. Praxis 50, 1-45, Stuttgart 1961
28. RÖBLER, G. und SCHMEISER, A.: Die altersabhängige Beteiligung der Segmente am Bewegungsablauf der Halswirbelsäule.  
Zeitschr.f. Altersforsch. 12, Hft. 1, 171-176, Leipzig 1958

29. SCHMIDT, H.: Über die Beweglichkeit in den Kopfgelenken bei basilarer Impression.  
Bericht über die 44. Tagung der deutschen Röntgengesellschaft 1963 in Baden-Baden. 62-64, Stuttgart 1964
30. SCHOEN, D.: zitiert nach MARKUSKE, S.: 16, (1961)
31. STOFFT, E.: Die menschliche Halswirbelsäule. (Analyse der Bandstrukturen und der Intervertebralgelenkflächen.) Manuelle Med. 8, 133-139 (1970)
32. STRECKER, C.: zitiert nach KNESE, S.: 71, (1948)
33. STOFFT, E. und MÜLLER, G.: Eine vergleichende Analyse der Intervertebralgelenkflächen. Anat. Anz. 128, (Ergh.) 355-363, (1971)
34. STOFFT, E.: Zur Morphologie und Funktion der zerviko-okzipitalen Übergangsregion.  
Die Wirbelsäule in Forsch. u. Praxis (1975) im Druck
35. STRASSER, H.: Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik.  
Berlin 1917.
36. TÖNDURY, G.: Entwicklungsgeschichte und Fehlbildungen der Wirbelsäule.  
Stuttgart 1958
- .

37. V.TORKLUS, . und GEHLE, .: Die obere Halswirbelsäule.  
Regionale Morphologie, Pathologie  
und Traumatologie; Praktischer Rönt-  
genatlas und Systematik.  
Stuttgart 1970
38. VELEANU,C.: Der Sperrmechanismus der Halswirbel-  
säule beim Foetus und Neugeborenen  
im Vergleich zum erwachsenen Menschen.  
Anat. Anz. 136, 401-404 (1974)
39. VIRCHOW,H.: Über die sagittal-flexorische Bewe-  
gung im Atlas-Epistropheus-Gelenk  
des Menschen.  
Virchows Arch. f. pathol. Anat. u.  
Physiol. u. klin. Med. 294-299 (1907)
41. WERNE,S.: Studies in Spontaneous Atlas Disloca-  
tions.  
Acta orthopäдика Scandinavia.  
Suppl. 23, 1-150 (1957)

## 7. Danksagung

Den Mitarbeitern des Anatomischen Institutes unter Leitung von Prof. Dr. A. Mayet möchte ich für ihre freundliche Zusammenarbeit danken.

Vielen Dank auch Herrn Prof. Dr. E. Stofft für das Überlassen des Themas und des Materials.

### 8. Lebenslauf

Am 23. Juni 1951 wurde ich in Speyer am Rhein geboren. Meine Eltern sind der Chemiemeister Alfons Schmitt und seine Ehefrau Elfriede,geborene Huwe.

Von 1957 bis 1962 besuchte ich die Volksschule in meinem Heimatort Heiligenstein und wechselte dann auf das Neusprachliche Gymnasium der Edith Stein-Schule Speyer über. Dort legte ich im Sommer 1970 das Abitur ab. Zum Wintersemester 1970/71 begann ich an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz mit dem Medizinstudium. Nach dem Physikum im Frühjahr 1973 ging ich für ein Semester an die Medizinische Hochschule Lübeck und setzte dann mein Studium in Mainz fort.

Das Medizinische Staatsexamen legte ich im Wintersemester 1976/77 ab.









